РЕЗЕРВЫ ИМПОРТОЗАМЕЩЕНИЯ

Текущая экономическая и политическая ситуация предполагает быстрый поиск технологических решений, позволяющих снизить стоимость шпунтовых стен, в том числе для вновь возводимых глубоководных портов страны, и минимизировать зависимость от импортных комплектующих. Ниже рассматриваются безконнекторные балочные шпунтовые стены с внутренним анкером и промежуточными сваями (нащельник, юбка) из корытных (и/или плоских, Z-образных) шпунтов, или иначе – рюмочные шпунтовые стены (РШС).

Для глубоководных портов нужны мощные и длинные несущие шпунтовые сваи. Как правило, такие сваи имеют либо О-образное сечение (трубы), либо Н-образное сечение (балки). Оба варианта требуют сварки – присоединения шпунтовых замковых элементов (замков) к свае. Новая труба большого диаметра – это дорого и долго из-за перегруженности производственных мощностей. Плюс к ней нужен еще более дорогой (как правило, импортный) замок-коннектор, плюс дорогая логистика (перевозка «воздуха»).

Крупных горячекатаных балок (более 70Ш5, производства НТМК) при нынешнем технологическом укладе у нас в стране пока не выпускают. Значит, балку для сверхтяжелых стен нужно сварить. Причем варить сразу разнополочную балку. А еще лучше – в качестве несущей части свайной конструкции вместо балки применить сварной тавр (Т-образное сечение), поскольку он меньше весит по сравнению с балкой. Тавру легко подобрать необходимые габариты и моменты сечения. Сами по себе балки и тавры задачу соединения свай в стену не решают. Все равно нужны замки-коннекторы. Замки можно взять у стандартных шпунтов. Но для этого шпунт надо разрезать. Приварить каждую «половинку» резаного шпунта к трубе – два сварных шва. Всего – четыре. А это деньги. Хочется-то работать со стандартными готовыми изделиями, не требующими дополнительной обработки. Например, объединить в одно целое стандартно выпускаемые горячекатаные шпунт и балку.

Вопрос: посредством чего объединять? Процесс нужен простой и надежный. Пусть это будет сварка. Современные технологии позволяют получить прочность сварного соединения на уровне не хуже, чем прочность основного металла. Кроме того, руководство страны призывает проектировщиков и строителей использовать отечественные материалы в своих проектных решениях. А в стране есть производитель, который выпускает и горячекатаный шпунт (Л5-УМ), и горячекатаную балку, – это НТМК. Эти факты и послужили отправной точкой для выработки нижеописанного технического решения.

Первоначально мы состыковали стандартно выпускаемые горячекатаную балку и горячекатаный корытный шпунт производства НТМК и получили некоторое подобие рюмки в сечении (рис. 1.1, 1.2, 1.3). Отсюда и общее название – **рюмочные шпунтовые стены (РШС)**, хотя, как будет показано ниже, «рюмка» в сечении угадывается не всегда.

Формула РШС

Стандартно выпускаемый специальный профиль (тавр, балка и пр.) – сварной, гнутый, холоднокатаный, горячекатаный и т. д. – приваривается вдоль внешней части полки стандартно выпускаемого цельного корытного (или плоского) шпунта (горячекатаного, холоднокатаного). Полученное изделие

Рис. 1.1. Сечение несущей сваи РШС. Состав несущей сваи: спецпрофиль – г/к балка, г/к корытный шпунт

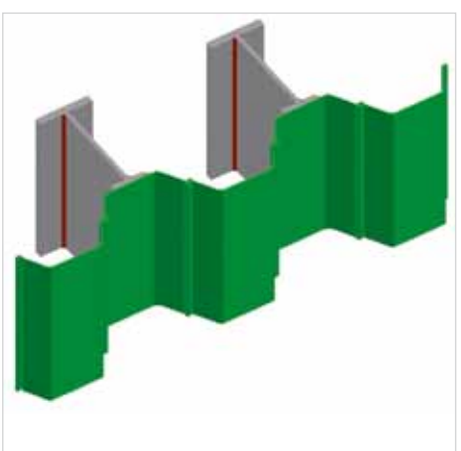

Рис. 1.2. Часть стены (2 периода) РШС. Состав периода: г/к балка, пара г/к корытных шпунтов

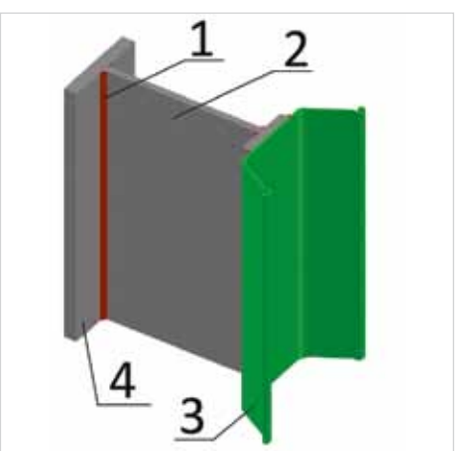

Рис. 1.3. Изометрия сечения с рис. 1.1. Обозначения: 1 – сварной шов; 2 – перемычка спецпрофиля; 3 – шпунт (противофильтрационная и противосуффизионная завеса); 4 – анкерная полка спецпрофиля

и есть несущая свая (главный свайный профиль) шпунтовой стены.

Несущие сваи РШС, в зависимости от целей, задач и используемых компонентов, устанавливаются с нащельником или без, либо параллельно друг другу, либо навстречу друг другу, либо навстречу друг другу, но со сдвигом.

В «рюмке» спецпрофиль (балка, тавр и т. п.) сопротивляется горизонтальным нагрузкам от грунтового и гидростатического давлений, передает вертикальные нагрузки на грунт, играет роль внутреннего анкера. Ряд цельных стандарно выпускаемых горячекатаных, холоднокатаных или сварных классических (корытных, плоских, Z-образных) шпунтов играет роль противофильтрационной и противосуффизионной завесы **(ПФ и ПС завеса).**

Особо нужно подчеркнуть, что в РШС
- шпунт используется как одно целое и не режется на части;
- и спецпрофиль, и шпунт – это готовые цельные стандартно выпускаемые производителями изделия. Например, Л5-УМ по ТУ 0925-008-00186269-2012 и балка 70Ш1 по СТО АСЧМ 20-93. Сварные балки и тавры, а так же балочные и тавровые короба, многогранные профили, С-профили и т. п. – готовая продукция заводов металлоконструкций.

В общем случае ПФ и ПС завеса может состоять из различных типов шпунтов с сопрягаемыми замковым и элементами, например: холоднокатаный плоский шпунт + пара холоднокатаных Z-образных шпунтов + холоднокатаный плоский шпунт и т. д. Или комбинация холоднокатаных плоских и корытных шпунтов. Некоторые примеры РШС с ПФ и ПС завесой из холоднокатаных шпунтов приведены на рис. 2 (а, б, в), 4, 6, 7, 8.б. При этом **составные части РШС соединяются между собой без использования дополнительных замков-коннекторов безотносительно способа их производства, за счет имеющися в их составе стандартных шпунтов собственных замковых элементов (замков)**, в отличие от отечественных трубошпунтов (ТШ), импортных ТШ и балочных шпунтовых систем.

Первая характерная особенность РШС

Конструктив РШС не предполагает использования промежуточных замков-коннекторов (в т. ч. и цельнокатаных) вне зависимости от страны происхождения и способа производства этих замков-коннекторов, связывающих несущие сваи и промежуточные шпунты (нащельник, юбка).

Такие замки-коннекторы производства «Северсталь-метиз», PilePro, SteelWall и т. д. традиционно используются в известных горячекатаных балочных и трубных шпунтовых стенах и, за редким исключением, требуют приваривания их (замков-коннекторов) к свае с обеих сторон со всеми вытекающими отсюда дополнительными затратами и сложностями (у ТШ дорогой стапель, перевозка «воздуха», деформация трубы или несоосная стыковка или приварка коннекторов может привести, например, к «сгоранию» замка при погружении и пр.; или вспомним, например, затраты на клиновые при погружении испанского ТШ на строительстве ледозащитных сооружений в порту Сабетта из-за овальности трубошпунтовых свай).

«Редким исключением» являются европейские комбинированные балочные системы (стены) типа HZM™ … – /AZ® или PEINER PSp/ PZi 610/612 **(далее КБСЕ)**, использующие дорогостоящие горячекатаные балочные спецпрофили с замковыми элементами (шпунтовые балки) и еще более дорогие замки-коннекторы типа RH, RZD, RZU; PEINER P, PEINER S, которые не требуют сварки со спецпрофилем.

Рис. 2а. Односторонняя РШС. Спецпрофиль – горячекатаная балка. ПФ и ПС завеса – холоднокатаный плоский шпунт III типа и холоднокатаный шпунтовый Z-профиль

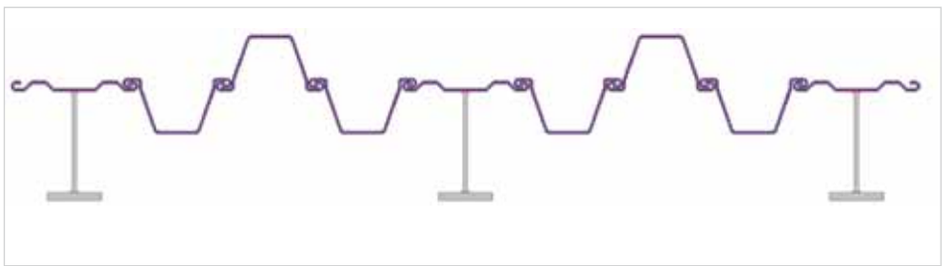

Рис. 2б. Односторонняя РШС. Спецпрофиль – сварной тавр. ПФ и ПС завеса – холоднокатаный плоский шпунт V-го типа и холоднокатаный корытный шпунт (U-профиль)

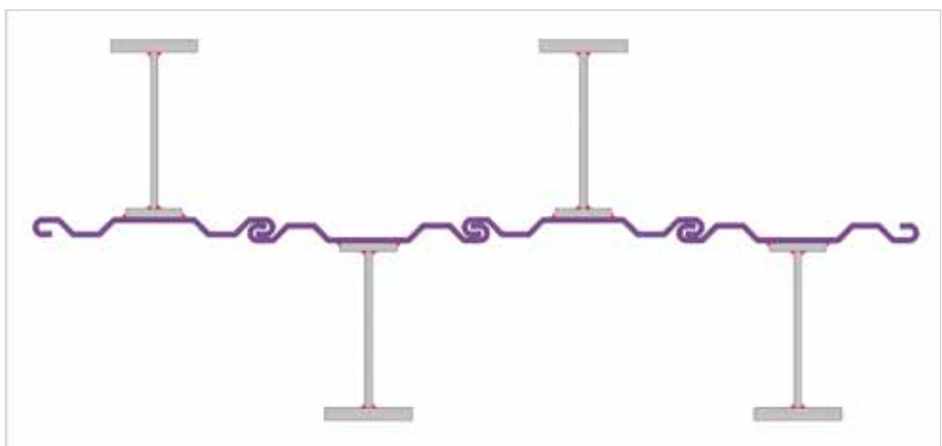

Рис. 2в. Двусторонняя РШС. Спецпрофиль – сварная разнополочная балка. ПФ и ПС завеса – холоднокатаный плоский шпунт V типа (F-профиль)

** Здесь и далее по тексту принимается: U-профиль – корытный шпунт, F-профиль – плоский шпунт, Z-профиль – Z-образный шпунт.*

Рис. 3. Двухсторонняя РШС: спецпрофиль – горячекатаная балка, горячекатаный корытный шпунт – ПФ и ПС завеса. Частный случай: пара горячекатаных корытных шпунтов в качестве нашельника

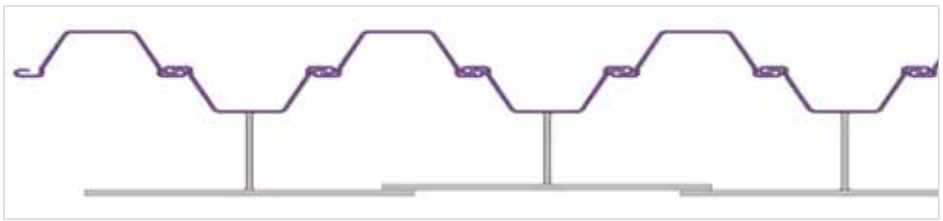

Рис. 4. Односторонняя РШС: спецпрофиль – тавр, холоднокатаный корытный шпунт – ПФ и ПС завеса. Схема-бокс. Базовый вариант: нашельник из одного холоднокатаного корытного шпунта

Однако подобные системы и их аналоги на сегодняшний день теоретически могут выпускать только два европейских производителя (американские – совсем дорогие). А производит их реально – только один.

Горячекатаные балочные спецпрофили с замковыми элементами (шпунтовые балки) имеют переменное сечение обеих полок (толщина полки посередине меньше, чем по краям) и выемку и/или шип около каждого края полки под замок-коннектор. Номенклатура самих спецпрофилей ограниченна. На повторяющийся элемент системы КБСЕ может приходиться до восьми замков-коннекторов, что повышает проницаемость, снижает надежность, увеличивает стоимость квадратного метра стены. Естественно, по стоимости такие шпунтовые балочные стены доступны только очень состоятельным заказчикам.

Ярчайшим представителем РШС на основе балочных и тавровых спецпрофилей, не использующих цельнокатаные промежуточные замки-коннекторы, являются системы с холоднокатаной ПФ и ПС завесой (см. рис. 2, 6, 7). В общем случае это те же «рюмочные» системы: двухсторонние, односторонние, в которых как частный случай используются плоские холоднокатаные шпунты различных конфигураций (подробнее о холоднокатаных шпунтах см. здесь – *http://profilgroup.ru/goodnet/insertfiles/file/vkladka_1_pechat.pdf и здесь – http://profilgroup.ru/goodnet/insertfiles/file/vkladka_2_pechat.pdf*).

По сути плоский шпунт, использующийся в данных балочных (тавровых) системах, играет и роль ПФ и ПС завесы, и роль замка-коннектора одновременно. При этом не требуется его разделка, как в случае его применения в трубошпунтах, так как замки разных шпунтовых профилей априори сопрягаемы из-за производства в одних и тех же валках.

Протяженность сварных швов в этих системах точно такая же, как и в рюмочных системах с горячекатаными шпунтами. Но в системах с холоднокатаной ПФ и ПС завесой можно создать большее количество балочных и тавровых схем.

Если сравнивать балочные системы с холоднокатаной ПФ и ПС завесой с аналогичными знаменитыми и известными балочными системами КБСЕ, то всегда у первой системы масса 1 кв. м не более, а моменты (оба) не ниже, чем у систем КБСЕ. Ну а экономика первых несравнима с экономикой вторых: практически в два раза дешевле хоть на западе, хоть на востоке РФ.

Более того, из-за большой дискретности параметров известные балочные системы типа КБСЕ и существующие их аналоги с холоднокатаной ПФ и ПС завесой не самые оптимальные по сравнению с сопоставимыми рюмочными шпунтовыми системами.

Вторая характерная особенность РШС

Дальняя от шпунта полка балки или тавра каждой несущей сваи является по своему техническому смыслу внутренним анкером, и это – вторая характерная особенность РШС.

Наличие внутреннего анкера не исключает, а даже упрощает дополнительную анкеровку. В зависимости от конфигурации РШС, внутренний анкер может играть роль контрфорса (рис. 3),

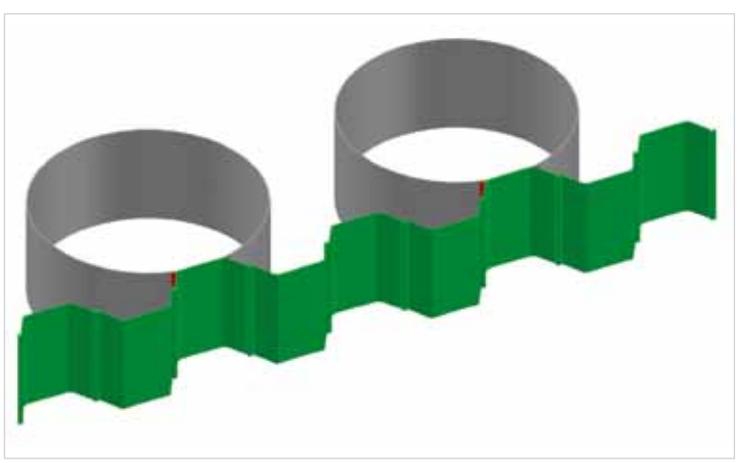

Рис. 5.1

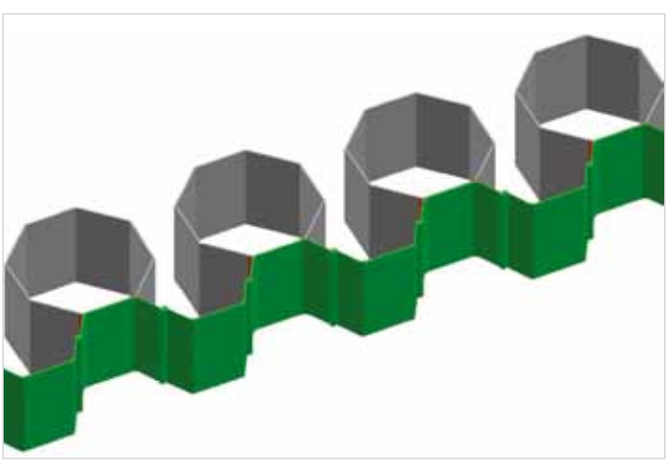

Рис. 5.2

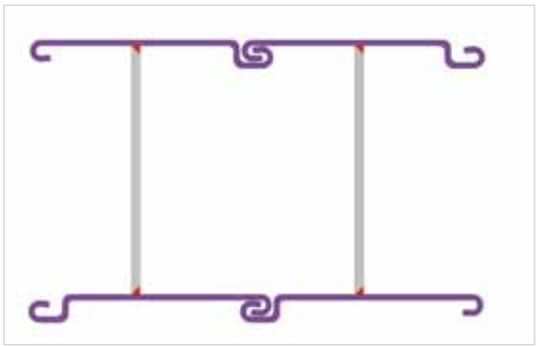

Рис. 6. Замкнутая (коробчатая) односторонняя РШС. Пластина (лист) в качестве спецпрофиля и пара холоднокатаных плоских шпунтов в качестве ПФ и ПС завесы. Роль анкерной полки выполняет один из холоднокатаных шпунтов

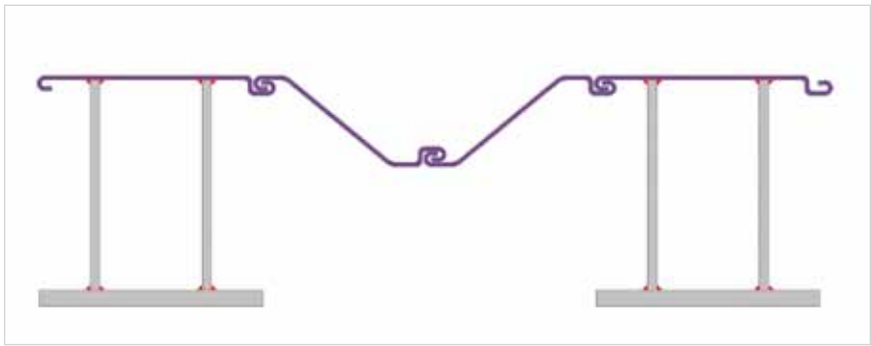

Рис. 7. Односторонняя РШС. Коробчатый тавровый профиль в качестве спецпрофиля. Плоский холоднокатаный шпунт и пара Z-профилей – ПФ и ПС завеса

что может быть весьма полезно в случае шпунтовых стен с длинной свободной частью сваи.

Основной вклад в генерацию моментов сечения в РШС вносит наиболее удаленная от нейтральной оси системы анкерная полка (для тавров и балок). Отсюда следует, что в смысле экономии веса одного квадратного метра стены (M, кг/м^2) при условии достижения требуемых механических характеристик сечения (J, см^4/м и W, см^3/м), наиболее эффективным является тавровый профиль по сравнению с балочным. Балочный профиль менее эффективен, чем тавровый, но он может быть горячекатаным. Однако для специальных условий или задач (например, для заливки бетоном, заморозки грунта и т. п.) могут потребоваться иные спецпрофили (см. рис 4, 5).

Третья характерная особенность РШС

Рюмочные шпунтовые стены являются бесконечным конструктором.

Для несущих свай РШС в качестве спецпрофиля может быть использованы не только балочные профили и тавровые профили, но и листы (рис. 6), профильные трубы, сварные короба (балочные, тавровые, рис. 7), полутрубные профили, незамкнутые трубные профили (С-профили, рис. 5.1), многогранные незамкнутые профили (рис. 5.2) и прочие специальные профили различной формы и способа изготовления.

Например, на рисунке 5.1 изображена РШС на базе С-профиля (ослабленная труба или гнутый незамкнутый кольцевой профиль, пропорции соблюдены) D = 1420 мм и шпунта Л5-УМ в качестве ПФ и ПС завесы. Ширина периода системы – 2 м.

Вместо незамкнутого кольцевого профиля может быть использован незамкнутый многогранный профиль и прочие специальные профили различной формы и способа изготовления. (рис. 5.2).

Вариантов присоединения спецпрофиля (балка, тавр и т. п.) и классического шпунта – множество: или присоединять спецпрофиль к каждому шпунту, или через один, или через два и т. д. Приваривать спецпрофиль можно как по одну сторону от нейтральной оси шпунтовой стены (рис. 1.2, 2а, 2б, 4, 5.1, 5.2, 7, 8а, 9б), так и по разные (рис. 2в, 3, 8б, 9а, 9в).

В зависимости от взаимного расположения внутренних анкеров (спецпрофилей), РШС могут быть **односторонними** (все внутренние анкера по одну сторону от нейтральной оси шпунтовой стены) или **двусторонними** (внутренние анкера по разные стороны от нейтральной оси шпунтовой стены). В общем случае, двусторонние РШС могут иметь различную геометрию спецпрофиля с каждой стороны от нейтральной оси, а обращенная к воде часть двусторонней РШС дополнительно «обвязана», например, швеллерами.

В зависимости от назначения РШС, между несущими сваями могут быть предусмотрены промежуточные шпунтовые сваи из одного или нескольких стандартно выпускаемых классических (U, F или Z-образных) шпунтов (рис. 2б, 3, 4, 5, 7, 8б) с сопрягаемыми замковыми элементами.

В некоторых случаях дополнительным бонусом при применении двусторонней РШС является то, что шпунтовая стена будет препятствовать перемещению донного грунта под действием винтов судов, гасить отраженную волну, защищать противофильтрационную завесу от динамических воздействий льда, самих плавсредств.

Несущие сваи РШС могут быть взаимно расположены:

- навстречу друг другу со сваркой или без (две независимых стены с промежутком или без – рис. 9в);
- навстречу друг другу в шахматном порядке, но со сдвигом вдоль нейтральной оси таким образом, что правый замковый элемент левого шпунта сопрягается с левым замковым элементом правого перевернутого шпунта (рис. 2в, 8б, 9а);
- через два (четыре, шесть и т. д.) безанкерных классических корытных шпунтовых профиля(ей) с симметричными замками (промежуточная свая, нащельник, юбка), причем анкерная часть несущих свай находится по разные стороны от нейтральной оси;
- через один (три, пять и т. д.) безанкерных классических корытных шпунтовых профилей с симметричными замками (промежуточная свая, нащельник, юбка), причем анкерная часть несущих свай находится по одну сторону от нейтральной оси;

– При наличии несимметричного замка на корытном шпунтовом профиле («шляпные» системы – hat-type systems, рис. 9б) – непосредственно одна за другой, с юбкой или без, причем анкерная часть несущих свай

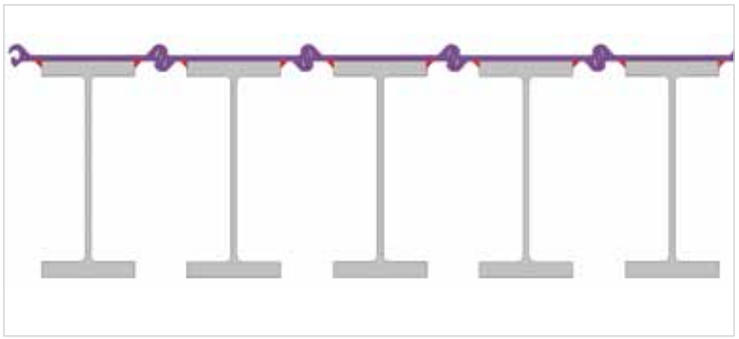

Рис. 8.1. Односторонняя РШС. Спецпрофиль – г/к балка. ПФ и ПС завеса – плоский г/к шпунт

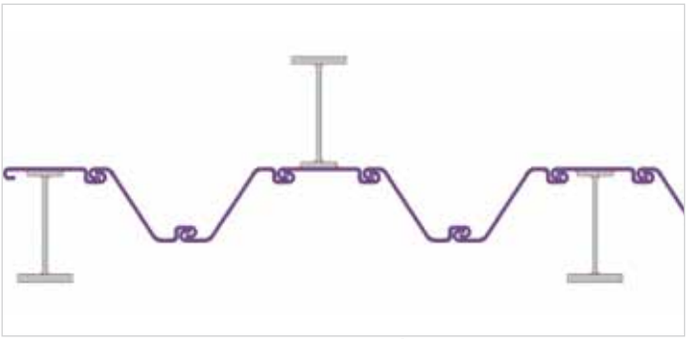

Рис. 8.2. Двусторонняя РШС. Спецпрофиль – разнополочная сварная балка. ПФ и ПС завеса – сопрягаемые х/к плоский (3 тип) и Z-образный шпунты

всегда находится по одну сторону от нейтральной оси.

– В случае замены корытного шпунта на некоторые типы плоских шпунтовых профилей, режим четности/нечетности промежуточных свай не обязателен.

– На момент написания статьи было отрисовано более 220 схем РШС только с использованием сварных и горячекатаных балок, тавров, многогранников, С-профилей и комбинаций классических шпунтов. И это далеко не предел.

Важным расширением РШС является случай замены корытных шпунтов на плоские шпунты (рис. 8а, 8б) различного способа производства (горячекатаные, холоднокатаные). Особенно это актуально в связи со строительством портов в северных морях, так как плоский горячекатаный шпунт имеет самый высокий показатель по нагрузке на раскрытие зева замка и может выдерживать высокие нагрузки, вызванные торошением ледовых полей. Кроме того, плоский шпунт более всего подходит для создания криволинейных конструкций.

В случае с холоднокатаными шпунтами шпунтовые замки (замковые элементы) разных типов (U, Z, F) шпунтов производятся сопрягаемыми. Соответственно, вариантов РШС с использованием разнообразных холоднокатаных шпунтов значительно больше, чем вариантов РШС на основе горячекатаных шпунтов.

Бесконечная вариабельность спецпрофилей, их параметров вкупе с достаточным количеством выпускаемых в мире шпунтов (холоднокатаных, горячекатаных, сварных), и множеством схем перебора расположения составных частей в шпунтовой стене, позволяют:

- оптимально подобрать параметры РШС и в смысле коэффициента эффективности использования материала (Кэфф = W/M), и в смысле экономии веса одного квадратного метра стены (M, кг/м^2) при условии достижения требуемых механических (J, см^4/м и W, см^3/м) характеристик сечения РШС;
- достичь и превзойти такие эффективные решения, как ПШС и ПШСД, высокие моменты шпунтовых трубных стен, в том числе и на основе труб большого диаметра или известных балочных (в том числе и импортных) шпунтовых стен с замками-коннекторами,
- уменьшить фильтрацию системы,
- снизить или исключить зависимость от импортных комплектующих,
- снизить себестоимость,
- снизить затраты на логистику,
- сократить сроки подготовительных работ,
- загрузить отечественных производителей.

Четвертая характерная особенность РШС

В смысле эффективного использования материала (Кэфф = W/M), **наиболее выгодным решением для РШС является установка несущих свай навстречу друг другу в шахматном порядке относительно нейтральной оси системы.** Такое расположение (вариант на рис. 9а) генерирует одновременно больший момент инерции и меньшую массу одного квадратного метра системы, чем аналогичная по параметрам свай система, но выставленная без описанного выше сдвига, либо требует дополнительных затрат.

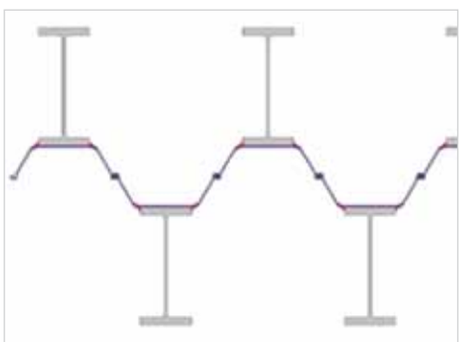

Рис. 9а. Двусторонняя РШС. Спецпрофиль – горячекатаная балка. ПФ и ПС завеса – горячекатаный шпунт с симметричными замками

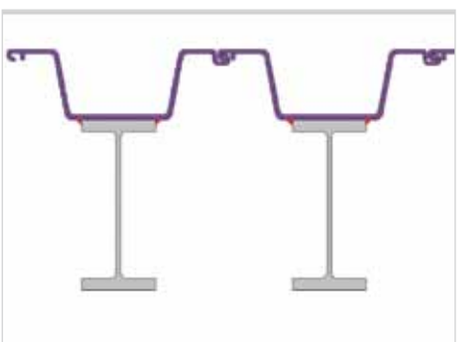

Рис. 9б. Односторонняя РШС. Спецпрофиль – горячекатаная балка. ПФ и ПС завеса – горячекатаный шпунт с несимметричными замками

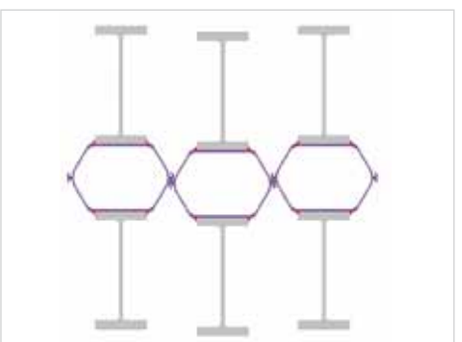

Рис. 9в. Двусторонняя усиленная РШС. Спецпрофиль – горячекатаная балка. ПФ и ПС завеса – горячекатаный коротный шпунт

Поставив «рюмочные» сваи навстречу друг другу, но без сдвига (рис. 9в), мы получим то же отношение W/M, что и в случае с РШС, показанной на рис. 9а, но при этом надо проводить дополнительные сварочные работы, чтобы объединить части системы в одно целое, что повышает стоимость квадратного метра.

Поставив «рюмочные» системы параллельно и рядом друг с другом, «рюмками» вверх по одной горизонтали (рис. 9б, «шляпные», hat type системы), мы получим момент инерции существенно меньше, а массу квадратного метра – такой же, как и в двусторонней системе со сдвигом в шахматном порядке (рис. 9а).

Так называемые «шляпные» (hat-type) шпунтовые стены, предложенные японцами уже много лет назад, неплохо себя зарекомендовали. Но эти схемы являются лишь частным случаем предлагаемых нами РШС. Более того, японский вариант, как показано выше, при прочих равных условиях принципиально всегда менее эффективен: при одних и тех же моментах масса квадратного метра их стены будет выше, чем у сопоставимых систем с использованием корытных шпунтов с симметричным замком. И обратно: при одной и той же массе квадратного метра стены механические характеристики «шляпной» японской стены, как правило, ниже.

Кроме того, в «шляпных» шпунтовых стенах используются специальные горячекатаные корытные шпунты двух видов с несимметричным замком, которые пока что производятся только японскими заводами и без своей горячекатаной балки обычно не продаются (долго, дорого, спекулятивно).

Пятая характерная особенность РШС

Рюмочные шпунтовые стены – простая и экономичная замена тяжелым классическим импортным шпунтам, комбинированым балочным системам и трубошпунтовым стенам.

РШС имеют широкий диапазон решений (W от 3600 см^3/м и более 40 000 см^3/м в случае с Л5-УМ). РШС легко обсчитываются.

РШС состоят из стандартных и широкодоступных комплектующих с умеренной добавленной стоимостью, доступных на внутреннем рынке, что резко сокращает время, требуемое для поставки на объект готового изделия.

РШС проще в изготовлении (хотя бы по сравнению с трубошпунтами). РШС могут быть легко произведены в любом регионе РФ, практически на любом заводе металлоконструкций или судоремонтном заводе, а также, при необходимости, и в условиях стройплощадки (например, когда конструктив РШС состоит из стандартной горячекатаной балки и стандартного горячекатаного шпунта, нужно лишь соединить посредством сварки две плоские поверхности, причем в некоторых случаях, возможно, и без подготовки кромок).

Изготовляемые сварным способом для РШС тавр или балка могут иметь в своей конструкции уступы, облегчающие стыковку на объекте длинномерных несущих свай без потери надежности стены (ступенчатое размещение стыковочных швов по разным уровням сваи – лесенкой), что при необходимости перевозки на удаленные объекты позволяет значительно сэкономить еще и на логистике.

Проведенные сравнительные расчеты (тавровые и балочные РШС со шпунтом Л5-УМ, оба момента РШС – не хуже, а стоимость лучше) показали, что соответствующие РШС с существенной выгодой (РШС в сравнении с HZM™ …/AZ® – более 68%; «Сабетта», ЮВЛЗС, РШС в сравнении с ТШ – около 50%) могут заменить стены в том числе из шпунтов типа ПШС, балочные шпунтовые стены с замками типа ПШС (ПШСД), трубошпунт, импортные балочные шпунты. Причем эффективность применения РШС растет с ростом требуемых моментов сечения.

Шестая характерная особенность РШС

Топология и вариабельность решений РШС позволяет наращивать моменты сечения темпами, опережающими рост массы сечения. То есть для РШС из отечественных материалов стоимость квадратного метра РШС растет медленнее, чем растут моменты его сечения. Эта особенность РШС позволяет увеличить свободную (незащемленную) часть шпунтовой стены или (там, где это возможно) исключить дополнительное анкерование, внесение в систему контрфорсов или распорок. Последнее влечет за собой резкое увеличение скорости проведения работ в котловане и, как следствие, удешевление всего проекта.

Самым дорогим компонентом РШС является шпунт. Поэтому, как и в любой комбинированной шпунтовой стене, в РШС ПФ и ПС завеса из классического шпунта может не полностью (длина юбки – до проектного дна плюс 2–4 м) покрывать несущую сваю (там, где это обосновано), что дополнительно снижает стоимость квадратного метра РШС.

Кроме того, никто не запретил делать несущую сваю (спецпрофиль) с переменным сечением с целью уменьшения массы сваи. Для сварных балок и тавров это не представляет сложности.

Выводы:

- РШС, в силу своей простоты конструкции и дешевизны составляющих их частей, могут эффективно заменять практически любые балочные и трубошпунтовые стены, стены из классических и балочных шпунтов типа ПШС **(универсальность).**
- Эффективность применения РШС растет с ростом требуемых моментов сечения **(выгодность).**
- РШС могут быть применены и для глубоководных портовых сооружений, и для глубоких котлованов без распоров, и для фиксации протяженных и/или глубокозалегающих участков подвижного грунта **(многофункциональность).**
- Конструктив РШС использует только цельные шпунты и не предполагает использования промежуточных замков-коннекторов. РШС могут быть полностью изготовлены из отечественных комплектующих и иметь при этом стоимость квадратного метра стены меньшую, чем практически любые сопоставимые по мощности известные шпунтовые стены, как отечественные (ТШ, ПШС, ПШСД и пр.), так и импортные **(замещение импорта).**

А.В. КАЛИНИНА,
А.Л. КАЛИНИН,
ООО «Профиль Группа Фирм»